Separat-Abdruck aus den
„Annalen der Physik und Chemie".
1880. Neue Folge. Bd. IX.

III. *Untersuchungen über die Schwingungen einer Normalstimmgabel;* *von Dr. Rudolph Koenig in Paris.*

Im Verlaufe der letzten zwanzig Jahre hat die Stimmgabel als Präcisionsinstrument eine immer ausgedehntere Anwendung gefunden und ist zu immer genaueren Untersuchungen verwendet worden, damit haben sich denn auch natürlich die Ansprüche an die Genauigkeit der Kenntniss ihrer Schwingungszahl beträchtlich steigern müssen. Die Stimmgabel, welche ich in den ersten Zeiten, als ich mich mit der Construction akustischer Instrumente zu beschäftigen anfing, mit den mir damals zu Gebote stehenden Mitteln etablirte, und als Etalon adoptirt hatte, trug die Angabe Ut_3 ($\bar{c}$) = 512 v. s. ohne die besondere Angabe der Temperatur, sollte aber meiner Absicht nach diese Schwingungszahl bei 20 Centigrad Wärme geben. Ich bemerkte bei meinen ferneren Arbeiten, dass diese Gabel aller Wahrscheinlichkeit nach bei $+20^0$ um einen Bruchtheil einer einfachen Schwingung zu hoch war, und also ihre Temperatur um einige Grade erhöht werden musste, wenn sie die Zahl von 512 v. s. in der Secunde mit absoluter Genauigkeit geben sollte. Da der Experimentator, welcher eine Stimmgabel anwendet, nur in den seltensten Fällen gerade bei der Temperatur arbeiten wird, für welche die Gabel construirt ist, und daher doch immer eine Correctur wird machen müssen, wenn seine Untersuchungen derart sind, dass sie eine Genauigkeit der Stimmung erfordern, bei welcher die Wirkung geringer Temperaturveränderungen schon in Rechnung kommt, so ist es im Grunde ganz gleichgültig, ob seine Gabel bei einigen Graden Wärme mehr oder weniger gestimmt ist, und es kommt nur darauf an, dass ihm dieser Wärmegrad selbst und die Aenderung, welche die Schwingungszahl seiner Gabel bei anderen Temperaturen erleidet, genau bekannt seien. — Es schien mir, dass die Bestimmung der sehr kleinen Grösse, um welche die erwähnte Gabel von dem

534 REMOTE STORAGE
K63u

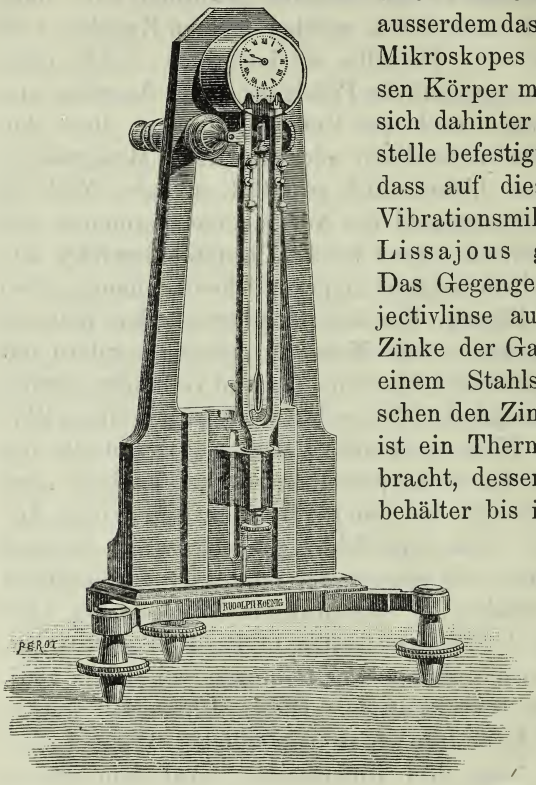
wahren Werthe abweichen mochte, wie auch die sehr genaue Bestimmung des Temperatureinflusses vermittelst der bisher für Untersuchungen dieser Art angewendeten Methoden, schwer mit Sicherheit zu erreichen sein würde, und ich habe daher die folgenden Untersuchungen erst unternommen, nachdem es mir möglich geworden war, einen neuen Apparat auszuführen, welcher meinen Zwecken vollständig entsprach. Derselbe zeichnet sich nicht allein durch die ausserordentliche Präcision seiner Angaben aus, sondern hat auch noch die Vorzüge, dass er diese Angaben ohne jede umständliche oder schwierige Manipulation des Beobachters liefert, und gestattet zu jeder Zeit die absolute Schwingungszahl der Normalgabel verificiren und die geringste, durch irgend welche Umstände bewirkte Abweichung derselben von ihrer ursprünglichen Stimmung, sofort nachweisen zu können. Um denselben herzustellen, habe ich nicht nöthig gehabt, etwas Neues zu erfinden, sondern nur verschiedene bekannte Elemente passend verbinden dürfen.

Eine Stimmgabel $C(Ut_1) = 128$ v. s.[1]) ist mit einem Uhrwerke in der Weise verbunden, dass sie vermittelst des Echappements den Gang desselben regulirt, zugleich aber auch durch dasselbe bei jeder Vibration eine kleine Impulsion erhält, sodass ihre Schwingungsbewegung dauernd unterhalten wird, wie dieses zuerst in einer Uhr realisirt worden war, welche Hr. Niaudet am 10. December 1866 der Akademie der Wissenschaften in Paris präsentirt hat, und welche auch auf den Ausstellungen von Paris 1867, und von Wien 1873 figurirte. Dieses Uhrwerk, welches für mich von Hrn. Brown in vorzüglicher Weise ausgeführt wurde, trägt drei Zifferblätter. Auf dem ersten, welches in 128 Theile getheilt ist, macht der Zeiger einen Umlauf in der Zeit, in welcher die Stimmgabel 128 v. s. ausführt, also in einer Secunde. Das zweite Zifferblatt und das dritte und grösste, zeigt die Secunden, Minuten und Stunden an, wie ein gewöhnlicher Chronometer. Beim

1) Alle hier angewandten Stimmgabeln waren aus demselben englischen Gussstahl gefertigt.

55275

Aufziehen des Uhrwerkes wird die Schwingungsbewegung der Gabel in keiner Weise gestört oder unterbrochen. — Auf beiden Zinken der Stimmgabel befinden sich Mikrometerschrauben mit schweren Köpfchen, welche eine äusserst genaue Regulirung der Schwingungsperiode gestatten. Auf einer Zinke derselben ist ausserdem das Objectiv eines Mikroskopes befestigt, dessen Körper mit dem Ocular sich dahinter auf dem Gestelle befestigt befindet, sodass auf diese Weise ein Vibrationsmikroskop nach Lissajous gebildet wird. Das Gegengewicht der Objectivlinse auf der zweiten Zinke der Gabel besteht in einem Stahlspiegel. Zwischen den Zinken der Gabel ist ein Thermometer angebracht, dessen Quecksilberbehälter bis in die Biegung hinabreicht, wo die Bewegung der Arme am geringsten, der Einfluss der Wärme auf dieselben aber am grössten ist.



Setzt man bei diesem Apparate Gabel und Uhrwerk in Gang, so erhält man nun eine durchaus isochrone, immer gleich weite Schwingungsbewegung von unbegrenzt langer Dauer, welche man mit der Bewegung jedes andern tönenden Körpers optisch vergleichen kann, und deren absolute Schwingungszahl sich aus dem blossen Vergleiche

der Uhr des Instrumentes mit einem Chronometer ergibt. Ist diese Uhr während einer Stunde durchaus richtig gegangen, so hat die Stimmgabel genau $3600.128 = 460{,}800$ v. s., oder in jeder Secunde 128 v. s. gemacht, ist sie dagegen in einer Stunde z. B. eine Secunde vor oder nach gegangen, so zeigt sie damit an, dass die Stimmgabel in derselben Zeit 128 v. s., und in einer Secunde $\frac{128}{3600} = 0{,}0355$ v. s. mehr oder weniger ausgeführt hat.

Ist die Stimmgabel bei einer bestimmten Temperatur so gestimmt, dass die Uhr absolut richtig, wie das Chronometer, geht, so gibt die Abweichung von diesem Gange, welche sich bei einer andern Temperatur zeigt, dann natürlich unmittelbar den Einfluss an, welchen der betreffende Unterschied in der Temperatur auf die absolute Schwingungszahl der Gabel ausgeübt hat, nur muss man sich hüten, die Angaben des Thermometers immer ohne weiteres als auch für die Temperatur der Gabel gültig anzusehen, denn diese letztere braucht eine weit längere Zeit, um die Temperatur der sie umgebenden Luft vollständig anzunehmen, als das Thermometer.

Um die Länge dieser Zeit genauer zu bestimmen, habe ich mehrere Versuchsreihen in folgender Weise ausgeführt. Von zwei Unisonogabeln $\bar{c}$ $(Ut_3) = 512$ v. s., welche das genaue Intervall der Octave mit der Gabel eines Vibrationsmikroskopes c (Ut_2) bildeten, wurde eine erhitzt und dann die Abnahme der durch die Wärme erzeugten Verstimmung von 5 zu 5 Minuten, zuerst vermittelst der Stösse mit der Unisonogabel, so lange diese noch schnell genug waren, um ihre Dauer ohne Schwierigkeit wahrnehmen zu lassen, darauf aber durch Beobachtungen mit dem Vibrationsmikroskope bestimmt.

Erhitzte ich die Gabel $\bar{c}$, bis ihr Ton um 4 v. s. vertieft war, so betrug diese Vertiefung durchschnittlich:

nach	$5^1/_2$	Minuten	nur	noch	2,000	v. s.
„	12	„	„	„	1,000	„
„	25	„	„	„	0,500	„
„	37	„	„	„	0,250	„

nach	50	Minuten	nur	noch	0,133	v. s.
„	60	„	„	„	0,080	„
„	70	„	„	„	0,054	„
„	80	„	„	„	0,039	„
„	100	„	„	„	0,016	„
„	120	„	„	„	0,002	„

In diesem letzten Falle machte also die durch das Vibrationsmikroskop beobachtete optische Figur während einer Minute noch etwa ein Achtel einer halben Umdrehung. Zehn bis zwanzig Minuten später verschwand dann aber auch schliesslich die letzte Spur einer Drehung der Figur, sodass demnach die Stimmgabel zwischen zwei und zweieinhalb Stunden gebraucht, um von einer Temperatur, welche sie um 4 v. s. vertieft, zur Temperatur der sie umgebenden Luft zurückzukehren.

Vertieft man die Gabel um nur 0,5 v. s., indem man sie etwa eine Minute lang in der Hand hält, so verschwindet diese Vertiefung schon ungefähr eine Viertelstunde früher als die gleiche Vertiefung bei vorhergegangener starker Erhitzung. Der Grund hierfür liegt wahrscheinlich darin, dass im ersten Falle dieselbe Vertiefung durch eine vielleicht etwas grössere, aber nicht tief in die Masse der Gabel eindringende, im letztern dagegen durch eine etwas geringere, aber die Gabel ganz durchdringende Wärme hervorgerufen wird. Dieses dürfte auch die Erklärung dafür abgeben, weshalb bei der Stimmgabel des Apparates die Zeitdauer für die Annahme der Temperatur der sie umgebenden Luft, wie sie sich aus der Beobachtung der Uhr ergab, etwas grösser war als bei den verhältnissmässig ziemlich schnell erhitzten Gabeln. Als z. B. bei einer ersten Versuchsreihe die Gabel genau bei $+18^0$ gestimmt war, und an einem Nachmittage von 5 bis 10 Uhr bei dieser immer unveränderten Temperatur die Uhr einen durchaus gleichen Gang mit dem Chronometer gezeigt hatte, konnte man am nächsten Morgen, wo das Thermometer wieder $+18^0$ angab, von 9 Uhr an ein Vorgehen noch bis gegen $1^1/_2$ Uhr wahrnehmen, welches beiläufig im

ganzen für diese $4^1/_2$ Stunden eine Secunde betrug, und erst dann blieb ihr Gang wieder bis 10 Uhr in absoluter Uebereinstimmung mit dem Chronometer. Die Gabel hatte also in diesem Falle $4^1/_2$ Stunden gebraucht, um die während der Nacht angenommene geringe Erkältung wieder vollständig zu verlieren. Man ersieht aus allen diesen Beobachtungen, dass man nur dann der Gabel des Apparates die vom Thermometer angegebene Temperatur zuschreiben kann, wenn diese Temperatur während mehrerer Stunden unverändert geblieben ist, und die Uhr, mit dem Chronometer verglichen, in ihrem Gange während einiger Stunden keinen Wechsel mehr bemerken lässt.

Es wäre hiernach am zweckmässigsten, in einem Raume zu experimentiren, in dem die Temperatur immer gleich bliebe, aber es ist schwer und sehr umständlich, durch künstliche Heizung in einem Zimmer während mehrerer Tage und Nächte einen immer gleichen Wärmegrad zu unterhalten, und tiefe Kellerräume, in denen die Temperatur von selbst unverändert bleibt, haben wieder den Nachtheil, dass ihre Temperatur zu niedrig ist, nämlich für Paris 12°. Will man aber eine Normalstimmgabel herstellen, welche durchschnittlich bei der gewöhnlichen Zimmertemperatur so richtig als möglich ist, so muss man sie für eine höhere als die mittlere Temperatur des Ortes construiren, denn bei der Bestimmung der letztern ist die grösste Kälte so gut wie die grösste Wärme in Anschlag gebracht worden, wogegen die mittlere Temperatur, bei der man mit Stimmgabeln zu arbeiten pflegt, doch wohl nur aus der gewöhnlichen Temperatur geheizter Zimmer und den über diese hinausgehenden Temperaturen des Ortes abzuleiten ist, da die Anwendung von Stimmgabeln zu genauen Experimenten bei starker Kälte nur sehr vereinzelt vorkommen dürfte. Ich habe aus diesen Gründen für die Normalgabel die Temperatur von 20 Centigrad Wärme gewählt und alle Experimente in einem sehr grossen und hohen, überall geschlossenen Zimmer ausgeführt, in dem die Temperatur sich immer nur sehr langsam und

verhältnissmässig wenig änderte, sodass oft das Thermometer von morgens bis abends fast gar keine Schwankungen anzeigte, wie dieses besonders an bewölkten, ganz sonnenlosen Tagen der Fall war, an denen es in diesem Jahre in Paris nicht mangelte.

Man könnte sich auch fragen, ob der Einfluss des sehr lange fortgesetzten Vibrirens der Gabel auf ihre Temperatur nicht schon gross genug wäre, um bei der Bestimmung ihrer Temperatur in einem gegebenen Augenblicke mit in Rechnung gebracht werden zu müssen, derselbe scheint jedoch so äusserst gering zu sein, dass man ihn wohl nur genau bestimmen könnte, wenn man in einem Raume experimentirte, in dem die Temperatur immer constant bliebe. Ich habe unter meinen zahlreichen Beobachtungen nur zwei gefunden, bei denen die Umstände für die Wahrnehmung dieses Einflusses günstig genug waren, und in welchen derselbe deutlich sichtbar zu sein scheint. Die Temperatur des Zimmers bei der ersten (25. Juli 1879), jede Stunde beobachtet, blieb von 8 Uhr morgens bis 4 Uhr abends beständig $+20^0$, und der Gang der Uhr in vollkommener Uebereinstimmung mit dem des Chronometers, um 5 Uhr war sie jedoch bis zu etwa $+19{,}7^0$ gesunken, die Uhr aber, statt infolge dessen etwas vorzugehen oder doch wenigstens noch denselben Gang beizubehalten, retardirte jetzt um $^1/_4$ Secunde, und bis 8 Uhr, wo die Temperatur noch immer $+19{,}7^0$ war, sogar um eine halbe Secunde. Erst nach 8 Uhr zeigte sich dann die Wirkung einer Erkaltung, indem bis 10 Uhr, bei $+19{,}5^0$, die Uhr wieder um eine halbe Secunde vorgegangen war, und somit auf den Punkt zurückgekehrt, auf dem sie ohne innere Erwärmung hätte bleiben müssen, wenn die Temperatur des Zimmers, statt zu sinken, bis 10 Uhr auf $+20^0$ geblieben wäre.

In der zweiten Beobachtungsreihe (22. Sept.) finden sich leider nicht genug Ablesungen, um den ganzen Gang der Erscheinung, wie bei der ersten, verfolgen zu können. Die Temperatur war um 2 Uhr und um 7 Uhr abends $+20^0$, und der Gang der Uhr in vollständiger Ueberein-

stimmung mit dem Chronometer. Dann erst wieder um 10 Uhr 30 Minuten beobachtet, fand diese Uebereinstimmung noch statt, obgleich die Temperatur bis zu etwa 19,6° gesunken war.

Ich stimmte nun die Stimmgabel des Apparates bei der Temperatur von 20 Centigrad Wärme in der Weise, dass sie während sechs Stunden durchaus keinen Gangunterschied mit dem Chronometer wahrnehmen liess, welcher selbst in 24 Stunden nur eine Secunde vorging, und hatte Gelegenheit, mich von der Richtigkeit dieser Stimmung noch mehrfach zu überzeugen, indem die Temperatur des Zimmers bei ihren Schwankungen im Juni und Juli noch sechsmal, und in der zweiten Hälfte des September noch einmal, und stets auf vier bis acht Stunden, durch 20° passirte, wo sich dann immer die absolute Uebereinstimmung zwischen dem Gange der Uhr und des Chronometers wieder herstellte. — Auch als bei einer Beobachtungsreihe (19. Juli), von 7 Uhr 46 Min. 45 Sec. Morgens, bis 6 Uhr 46 Min. 45 Sec. Abends die Temperatur von 19,3° bis 20,3° variirt hatte, aber die Berechnung für die ganze Zeitdauer die mittlere Temperatur von 20° ergab, war die Uhr erst bis 9 Uhr 46 Min. 45 Sec. um eine halbe Secunde vorgegangen, dann bis 2 Uhr 46 Min. 45 Sec. in gleichem Gange mit dem Chronometer geblieben, bis 5 Uhr 46 Min. 45 Sec. aber dann wieder um eine halbe Secunde nachgegangen, sodass das schliessliche Resultat ganz dasselbe war, als wäre die Temperatur von morgens bis abends 20° gewesen. — Beiläufig gesagt, blieb an dem Tage nach 6 Uhr die Temperatur noch bis 11 Uhr auf 20°, und die Uhr in absoluter Uebereinstimmung mit dem Chronometer.

Mit der in solcher Weise regulirten Gabel des Apparates stimmte ich darauf bei 20° Wärme optisch eine Gabel auf die Doppeloctave $\bar{c}$ (Ut_3) = 512 v. s. mit solcher Genauigkeit, dass, wenn sie gleiche Temperatur mit der Gabel C = 128 v. s. hatte, und ihre Schwingungen durch das Vibrationsmikroskop bis zu ihrem Verschwinden, also wäh-

rend 80 bis 90 Secunden beobachtet wurden, die Figur der rechtwinkeligen Composition der Schwingungen von 1 : 4 durchaus nicht die geringste Drehung wahrnehmen liess.

Somit machten nun also die Gabel des Apparates *C* und die oben beschriebene Gabel $\bar{c}$ bei 20 Centrigrad Wärme genau 128 und 512 v. s.

Der Umstand, dass die optische Figur der beiden Schwingungsbewegungen bis zum Verschwinden der Schwingungen der Gabel $\bar{c}$ durchaus keine Drehung wahrnehmen liess, zeigte zugleich auch an, dass die Schwingungen dieser Gabel während der ganzen Zeit, in der sie tönte, isochron waren, was von der grössten Wichtigkeit ist, denn da die Bestimmungen äusserst kleiner Tonunterschiede immer auf der Beobachtung der optischen Figur, oder dem Zählen der Stösse zweier Gabeln während einer längern Zeitdauer beruhen, so würde die Richtigkeit derselben durchaus illusorisch sein, wenn die Tonhöhe dieser Gabeln während der Zeit des Experiments eine Aenderung erlitte, wie dieses schon von Scheibler an Gabeln von unpassender Form beobachtet worden war, deren Zinken, statt parallel zu sein, sich nach den Enden zu mehr schlossen oder öffneten, und wie dieses auch mitunter, obgleich in weit geringerem Maasse, durch die Befestigung der Gabel auf einem Resonanzkasten bewirkt werden kann. — Ich sagte hier ausdrücklich „mitunter“, denn der Einfluss der Resonanzkästen auf die Schwingungen der Gabel ist im allgemeinen sehr verschieden. — Wenn der Eigenton des Kastens von dem Tone der Stimmgabel noch ziemlich weit entfernt ist, obgleich schon nahe genug, um ihn gut zu verstärken, so lässt sich oft nicht der geringste Einfluss desselben auf die Schwingungen der Gabel nachweisen, und die Gabel tönt lange und mit gleichmässig abnehmender Stärke bis zum Verschwinden ihres Tones; ist dagegen der Ton des ganzen Systems, welches durch die Luftmasse und die Decken mit der Belastung der Gabel gebildet wird, dem Eigentone der Stimmgabel zu nahe und auch

sonst noch in gewissen Verhältnissen, welche ein sehr starkes Mitschwingen befördern, so lässt die Gabel, welche frei in der Hand gehalten, oder, auf einem soliden Ständer befestigt, 60 bis 90 Secunden lang mit gleichmässig abnehmender Intensität vibriren würde, mit dem Bogen angestrichen, erst einen ganz lauten Ton hören, ich möchte sagen, sie schreit förmlich auf, dieser verliert aber seine Intensität sehr bald, etwa schon nach 20 Secunden, und es bleiben dann nur noch für einige Zeit Schwingungen von ganz geringer Amplitude übrig, welche zu schwach sind, um noch die Schwingungen des Resonanzkastens merklich erregen zu können. Wenn der Resonanzkasten in dieser Weise auf die Schwingungsdauer der Gabel wirkt, so bleibt er auch nie ganz ohne Einfluss auf den Isochronismus und die Zahl ihrer Schwingungen, obgleich ersterer nur so klein ist, dass man geneigt sein könnte, den Nachweis desselben Beobachtungsfehlern zuzuschreiben, wenn man nur in der Weise die Untersuchungen anstellte, dass man die Gabel abwechselnd auf einem festen Ständer, und dann wieder auf einem Resonanzkasten befestigte, wo es allerdings an Fehlerquellen nicht mangeln würde. Ich habe jedoch Gelegenheit gehabt, diesen Einfluss eines Resonanzkastens auf die Schwingungen der Gabel zu beobachten, während sie gar nicht zwischen zwei Experimenten angerührt wurde, indem ich nur den Eigenton des Kastens dadurch veränderte, dass ich die Hand seinem offenen Ende mehr oder weniger näherte, wo dann die mit dem Vibrationsmikroskop beobachtete optische Figur, welche eine Schwankung in 20 Secunden sehen liess, wenn die Oeffnung des Kastens ganz frei gelassen wurde, nur noch 12 Secunden brauchte, um dieselbe Schwankung auszuführen, wenn ich die Oeffnung zudeckte, was also einen Unterschied der Schwingungszahlen in beiden Fällen von 0,033 v. s. in der Secunde anzeigte.

Auch wenn man, um den Ton der Stimmgabel zu verstärken, diese, statt auf einem Resonanzkasten vor einem Resonator mit starken Wänden, deren Schwingungen ganz

vernachlässigt werden können, befestigt, sodass der resonirende Körper allein in der Luftmasse besteht, zeigt sich eine Einwirkung des Resonanztones auf die Schwingungsbewegung der Gabel, die sich in diesem Falle genauer in ihrem ganzen Wesen untersuchen lässt. — Für diese Experimente war die Stimmgabel $\bar{c}$ ($Ut_3 = 512$ v. s.) auf einer Eisenplatte befestigt, und einige Millimeter hinter ihr eine Resonanzröhre von Messing, welche 12 cm im Durchmesser hatte, vorne einen Deckel mit einer 25 mm breiten und 11 cm langen Oeffnung trug und hinten einen verschiebbaren Stempel, durch den der Ton in genügenden Grenzen abgeändert werden konnte. — Die Gabel, auf ihrer Eisenplatte ohne Resonator geprüft, vibrirte gut während etwa 90 Secunden; befand sich jedoch der Resonator hinter ihr, und erhöhte man den Eigenton desselben, von einem beträchtlich tiefern als dem der Stimmgabel ausgehend, mehr und mehr, so konnte man folgenden Vorgang beobachten. — Schon wenn der Resonatorton noch eine kleine Terz tiefer als die Stimmgabel war, also auf a (la_2) stimmte, liess sich eine kleine Verringerung der Schwingungsdauer und gleichzeitig eine geringe Erhöhung der Schwingungszahl, etwa um 0,011 v. s., wahrnehmen. Je mehr von hier ab dann der Eigenton des Resonators sich dem der Stimmgabel näherte, je mehr nahm die Schwingungsdauer der Gabel ab und ihre Höhe zu, bis ganz nahe zu dem vollständigen Einklange beider Töne; war dieser jedoch wirklich erreicht, so verschwand plötzlich die Erhöhung der Schwingungszahl der Gabel ganz und gar, und sie zeigte dieselbe Stimmung, wie wenn sie ganz frei ohne Resonator vibrirte. Der Ton war dabei mächtig angeschwollen, nahm jedoch sehr schnell an Intensität ab und dauerte im ganzen nur etwa 8 bis 10 Secunden. Nach einer geringen Erhöhung des Resonatortones trat dann wieder eine gleich grosse, aber entgegengesetzte Verstimmung der Gabel ein, d. h. sie zeigte sich nun um so viel tiefer geworden, als sie bei etwas tieferem Resonatortone vor der Erreichung des reinen Einklanges höher gewesen war, und diese Vertiefung wurde

dann bei immer grösserer Höhe des Resonatortones immer geringer, während die Schwingungsdauer der Gabel schliesslich wieder bis zu 80 und 90 Secunden anwuchs.

In folgender Tabelle habe ich die bei diesen Experimenten gefundenen Mittelwerthe zusammengestellt:

Stimmgabelton	Resonatorton	Schwingungsdauer d. Stimmgabel in Secund.	Veränderung der Schwingungszahl der Stimmgabel
$\bar{c}$	a	80	+0,011 v. s.
„	ais	60	+0,017 „
„	h	30	+0,033 „
„	496 v. s.	20	+0,071 „
„	$\bar{c}$	8—10	0 „
„	528 v. s.	18	−0,071 „
„	$\overline{cis}$	22	−0,058 „
„	$\overline{d}$	45	−0,030 „
„	$\overline{dis}$	70	−0,017 „

Nachdem die Schwingungszahlen der Gabel des Apparates C und der Normalgabel $\bar{c}$ mit absoluter Genauigkeit für die Temperatur von 20° C. hergestellt waren, fragte es sich, welches die Schwingungszahlen dieser Gabeln bei jeder beliebigen andern Temperatur sein würden.

Um den Einfluss eines Wärmegrades auf die Schwingungszahl der Stimmgabel des Apparates aus dem Gangunterschiede der Uhr und des Chronometers bestimmen zu können, machte ich in den Monaten von Juli bis in die erste Hälfte des Decembers des laufenden Jahres zwischen drei und vierhundert Beobachtungen, welche eine Anzahl von Reihen bilden, von denen sich einige über mehrere Tage und Nächte hintereinander erstreckten. Da jedoch während der Nächte nur wenige, und öfters gar keine Ablesungen gemacht waren, und somit die Bestimmung der mittlern Temperatur während der Nachtstunden unsicher wurde, zog ich es schliesslich vor, nur die Tagbeobachtungen zu benutzen, welche in 66 Gruppen enthalten waren. Wegen der Kleinheit und der Langsamkeit des Temperaturwechsels während jeder Beobachtungsperiode konnte wohl angenommen werden, dass die Temperatur

der Stimmgabel, wenn auch natürlich nicht in jedem Augenblick mit der Temperatur der Luft, so doch durchschnittlich mit der mittlern Temperatur derselben während der Zeit der Beobachtungen genügend gut übereinstimmte, und sollte in den Morgenstunden die Gabel gewöhnlich etwas kälter gewesen sein, so würden die hieraus entstandenen Fehler der Resultate, welche von Beobachtungen bei Temperaturen über 20° Wärme, und von solchen bei Temperaturen unter 20° Wärme abgeleitet wurden, sich doch zum grössten Theil gegenseitig aufheben müssen.

Da in den Fällen, in denen die Temperatur 20° Wärme zu nahe ist, die geringste Ungenauigkeit der Ablesung sofort zu den unrichtigsten Resultaten führen würde, so habe ich aus den erwähnten Beobachtungsreihen alle ausgeschieden, bei denen die mittlere Temperatur nicht unter 19° oder über 21° Wärme betrug, sodass nur 48 übrig blieben, welche zwei Serien bilden, und von denen eine, von Ende Juli bis Ende August, 14 Beobachtungsreihen bei Temperaturen von +21° bis +26,1° enthält, und die andere, von Ende September bis Mitte December, 34 Beobachtungsreihen bei Temperaturen von 3,1° bis 17°. In folgender Tabelle habe ich alle 48 Beobachtungsreihen verzeichnet, und es bedeutet in derselben: *A* die Anzahl der Ablesungen; *B* die Dauer der Beobachtungen in Stunden; *C* den Gangunterschied der Uhr und des Chronometers während der ganzen Zeit des Experiments in Secunden, *D* denselben Gangunterschied für die Dauer einer Stunde in Secunden, *E* die äussersten Grenzen der Temperatur während der Dauer des Experiments, *F* die mittlere Temperatur während der Dauer des Experiments; *G* den Einfluss von einem Centigrad in einer Stunde auf den Gang der Uhr.

Wie man aus nachstehender Tabelle ersieht, ist der Einfluss eines Centigrades Wärme in einer Stunde auf den Gang der Uhr, abgeleitet allein aus den 14 Beobachtungsreihen bei Temperaturen über $+21^0 = \frac{5,60}{14} = 0,400$

	A.	*B.*	*C.*	*D.*	*E.*	*F.* 20^0	*G.*
							s
1	9	10^h	$4{,}3^s$	$0{,}40^s$	$20{,}5—21{,}8^0$	$+ 1{,}1^0$	0,40
2	4	4	3,5	0,87	21,4—22,7	+ 2,2	0,40
3	9	10,5	7	0,67	21,3—22,3	+ 1,6	0,42
4	9	13	18	1,38	21,8—23,5	+ 3,0	0,46
5	11	15	20	1,35	22,8—24,3	+ 3,8	0,35
6	9	16,5	25	1,51	23,3—24,0	+ 3,6	0,42
7	10	14,5	27	1,86	24,0—25,5	+ 5,0	0,36
8	7	15	30,5	2,03	24,0—25,4	+ 5,1	0,40
9	5	7	15	2,14	25,0—27,0	+ 6,1	0,35
10	7	15	31,5	2,10	25,0—25,8	+ 5,4	0,39
11	2	4	7,5	1,87	24,3—25,6	+ 4,9	0,38
12	4	11	16,5	1,50	23,3—24,0	+ 3,7	0,40
13	5	14	17	1,21	22,3—23,8	+ 2,9	0,42
14	4	15,5	14	0,90	21,4—22,5	+ 2,0	0,45
							5,60
15	8	14,3	21,5	1,50	16,5—17,5	— 3,0	0,50
16	7	12	21	1,75	15,8—16,3	— 3,9	0,45
17	3	6	10	1,66	16,4—16,8	— 3,4	0,49
18	6	13	24,5	1,88	15,8—16,6	— 3,6	0,50
19	2	13	19	1,46	16,6—16,8	— 3,3	0,44
20	6	9	20	2,22	14,7—15,0	— 5,0	0,44
21	4	8	16,5	2,06	15,2—15,5	— 4,6	0,45
22	2	5	10	2,00	15,0—15,2	— 4,9	0,41
23	4	6	13,5	2,25	13,6—14,2	— 6,1	0,37
24	3	7	15	2,14	13,3—14,0	— 6,1	0,34
25	10	14	33	2,35	12,5—13,4	— 6,9	0,34
26	6	15	41	2,73	13,0—13,5	— 6,6	0,41
27	4	5	13	2,60	13,2—13,5	— 6,6	0,39
28	2	13,5	29	2,14	14,2—15,2	— 5,3	0,40
29	2	13	32,5	2,50	14,0—14,2	— 5,9	0,42
30	2	6	17,5	2,91	12,7—13,0	— 7,2	0,40
31	4	15	42	2,88	13,0—13,5	— 6,8	0,42
32	3	16	45	2,81	13,0—13,8	— 7,0	0,40
33	3	12	39,5	3,29	12,5—12,5	— 7,5	0,44
34	9	12	39,7	3,31	10,0—11,4	— 9,2	0,36
35	3	14	40	2,86	11,6—12,3	— 7,9	0,36
36	5	12	44	3,66	10,2—10,7	— 9,4	0,39
37	5	9	33,5	3,72	9,2—11,0	— 9,4	0,40
38	7	15	52	3,47	9,9—10,1	—10,8	0,35
39	6	14	48,2	3,45	9,8—10,2	—10,8	0,35
40	2	6	21	3,50	10,2—10,2	— 9,8	0,36
41	5	15	57	3,80	10,0—10,5	— 9,7	0,39
42	3	10	35,5	3,56	9,3— 9,8	— 9,4	0,38
43	4	14	68	4,57	8,2— 8,4	—11,5	0,42
44	2	3	16	5,33	6,6— 6,8	—13,3	0,40
45	4	11	56,5	5,5	6,3— 6,9	—13,4	0,41
46	3	12	67	5,6	5,2— 5,9	—14,2	0,39
47	4	12	72	6	4,3— 4,7	—15,4	0,39
48	3	12	79	6,6	2,2— 3,5	— 3,1	0,39
							13,75

$\frac{5{,}60}{14} = 0{,}400$ $\qquad \frac{13{,}75}{34} = 0{,}404$ $\qquad \frac{5{,}60 + 13{,}75}{48} = 0{,}403$

Secunden, abgeleitet allein aus den 34 Beobachtungsreihen bei Temperaturen unter $+19^0 = \frac{13,75}{34} = 0,404$ Secunden, und wenn man die Beobachtungen über $+21^0$ und unter $+19^0$ zusammennimmt $= \frac{13,75 + 5,60}{48} = 0,403$ Secunden.

Die Aenderung der Tonhöhe der Gabel $C = 128$ v. s., welche durch einen Gangunterschied der Uhr von einer Secunde in der Stunde angezeigt wird, beträgt aber $\frac{128}{3600} = 0,0356$ v. s. und also für einen Gangunterschied von 0,403 Secunden, $0,0356 . 0,403 = 0,0143$ v. s.

Um dieses Resultat auch bei Temperaturen, welche über die Grenzen der direct beobachteten hinausgehen, mit Sicherheit anwenden, und auch bei Stimmgabeln von verschiedener Stärke und verschiedener Tonhöhe, verwerthen zu können, war es nöthig, direct zu untersuchen, ob der Temperatureinfluss auch bei bedeutend grösserer Wärme oder Kälte noch proportional bleibt, wie er es in den Temperaturgrenzen zu sein scheint, in denen obige Beobachtungen gemacht wurden, ferner, ob die Wirkung der Wärme auf Gabeln von gleicher Tonhöhe aber verschiedener Masse dieselbe ist, und schliesslich, ob nahezu gleichgeformte Stimmgabeln von verschiedener Tonhöhe im Verhältniss ihrer Schwingungszahlen von der Temperatur beeinflusst werden.

Ich wendete bei diesen Experimenten einen Kasten mit sehr dicken Holzwänden an, dessen Boden aus einer Eisenplatte bestand, welche durch einen untergesetzten kleinen Gasapparat beliebig erhitzt werden konnte. Die Vorderwand wurde durch eine starke Spiegelglasscheibe gebildet, und in der Decke befand sich eine Oeffnung, in welche eine dickwandige Glasröhre eingesetzt war, deren aus dem Kasten hervorragendes Ende nach Belieben offen gelassen oder durch einen Kork geschlossen werden konnte. — Die Temperatur der Luft in diesem Kasten war natürlich je nach der Entfernung von der geheizten Bodenplatte sehr verschieden, sie konnte jedoch an derselben Stelle leicht während langer Zeit constant erhalten werden, oder

vielmehr in geringen Grenzen um denselben Wärmegrad oscillirend, indem man die Gasflammen verkleinerte oder vergrösserte, auch die Glasröhre in der Decke offen liess oder schloss, je nachdem das Thermometer über den gewünschten Wärmegrad zu steigen oder zu sinken anfing.

Um zu sehen, ob der Wärmeeinfluss auf die Gabel bei in weiteren Grenzen verschiedenen Temperaturen derselbe bleibt, wendete ich zuerst eine Gabel $C(Ut_1)=128$ v. s. an, die in Grösse und Form der des Apparates vollständig gleich war, auch einen eben solchen Spiegel mit Gegengewicht und eine gleiche Stimmvorrichtung trug. Da die Dimensionen des Kastens nicht gestatteten, sie in ihrer ganzen Länge der Eisenplatte parallel zu befestigen, so wurde sie an der Decke desselben vertical mit den Zinken nach unten disponirt, wobei diese also durch sehr verschieden warme Luftschichten reichten, sodass demnach nur von vergleichenden Experimenten, aber in keiner Weise von absoluten Bestimmungen die Rede sein konnte. Die Schwingungen der Gabel, am Kasten selbst durch eine einfache Vorrichtung erregt, wurden in der bekannten Weise optisch beobachtet, indem ein Lichtstrahl auf ihren Spiegel und von diesem auf den Spiegel einer zweiten, vorher mit ihr im Unisono gestimmten, geleitet wurde, die in genügender Entfernung von dem Kasten horizontal aufgestellt war und also, wenn die Gabeln vibrirten, die Ellipse sehen liess, welche durch ihre Schwankungen jede Abweichung von der ursprünglichen Tonhöhe der Stimmgabel im Kasten anzeigte. — War die Temperatur im Kasten an der Decke in der Nähe der Biegung der Gabel während mehrerer Stunden um 5° wärmer erhalten, als die im Zimmer, welche 23° betrug, so wurde die Gabel um 1 v. s. in 10 Secunden vertieft, betrug der Unterschied der Temperatur im Kasten an derselben Stelle und im Zimmer aber 25°, so entstand eine Vertiefung um 1 v. s. erst in 2,37 Secunden, statt in 2, wie die Resultate bei der Temperaturdifferenz von 5° erwarten liessen.

Noch zahlreichere Versuche in derselben Richtung

stellte ich mit einer Gabel $\bar{c}$ (Ut_3) = 512 v. s. an. Diese wurde horizontal, parallel zu der erwärmten Platte befestigt, und die Enden ihrer Zinken reichten bis dicht vor die Glasplatte, sodass ihre Schwingungen mit dem Vibrationsmikroskop beobachtet werden konnten, welches natürlich immer nur für die kurze Zeit der Beobachtung der Glasplatte genähert, sonst aber in genügender Entfernung vom Kasten gehalten wurde. Das Thermometer reichte mit seinem Quecksilberbehälter bis zwischen die Zinken der Gabel. Die Temperatur im Zimmer betrug durchschnittlich + 26°, und eine Erhöhung derselben im Kasten um 5° ergab für den Einfluss eines Wärmegrades 0,059 v. s., eine Erhöhung von 10° ergab 0,055, und die von 15°, 0,054 v. s. als mittlere Werthe. Bei nur zwei Experimenten, bei welchen der Temperaturunterschied bis zu 30° gesteigert worden war, erhielt ich einmal für den Einfluss eines Wärmegrades 0,053 v. s., das andere mal 0,055 v. s., sodass der Mittelwerth gleich dem bei der Temperaturdifferenz von 15° gefundenen war.

Man ersieht aus allen diesen Ergebnissen, dass es sich hier immer nur um sehr kleine Differenzen handelt, deren Grösse schon in die Grenzen der Beobachtungsfehler fallen kann, und dass man also jedenfalls praktisch, wenigstens bis zu 50° bis 60° Wärme, den Einfluss der Wärme auf eine Stimmgabel als constant betrachten kann. Die grosse Sorgfalt jedoch, mit der ich die zahlreichen Versuche ausgeführt, deren summarische Resultate ich oben gegeben, und die geringen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen voneinander und von den aus ihnen gezogenen Mitteln lassen annehmen, dass der Wärmeeinfluss bei verschieden hohen Temperaturen nicht absolut derselbe bleibt, sondern bei immer höher werdenden Temperaturen etwas kleiner wird.

Was den Einfluss der Wärme anf Gabeln von gleicher Tonhöhe aber verschiedener Masse anlangt, so gaben zwei Gabeln $\bar{c}$ = 512 v. s. mit Zinken von 6 bis 4 mm Dicke, welche bei + 20° genau im Einklang gestimmt waren,

nachdem sie 5 Stunden lang in dem Kasten, parallel zur Bodenplatte und in gleicher Entfernung von derselben, einer Temperatur von 50° ausgesetzt gewesen waren, miteinander annähernd eine Schwebung in 6 Secunden, zwei Gabeln $\overline{c}$ (Ut_4) mit 7 und 3 mm Zinkendicke, unter gleichen Verhältnissen zu 45° erhitzt, eine Schwebung in 5 Secunden, und zwei Gabeln $\overline{\overline{c}}$ (Ut_5), welche 7 und 5 mm dicke Zinken hatten, ebenfalls zu 45° erhitzt, eine Schwebung in 4 Secunden, welche Werthe den Unterschied des Einflusses von einem Wärmegrade für diese drei Gabelpaare zu annähernd 0,011 v. s., 0,016 v. s. und 0,02 v. s. bestimmen. — Dabei waren es immer die stärkeren Gabeln, welche am meisten von der Wärme influencirt und somit am tiefsten geworden waren.

Da es mir bei diesen Experimenten nicht auf eine äusserst genaue Bestimmung der Tondifferenz bei den erhitzten Gabelpaaren ankam, so wurden die Gabeln nicht im Kasten selbst zum Tönen gebracht, sondern ausserhalb desselben entweder nacheinander einzeln geprüft, oder beide zugleich aus dem Kasten genommen und auch zusammen angeschlagen. Dabei war es denn bemerkenswerth, dass während einer sehr kurzen Zeit nach ihrer Entfernung aus dem Kasten die Differenz ihrer Tonhöhe etwas zunahm, weil wahrscheinlich die dünnere Gabel sich schneller abkühlte und somit schneller höher wurde, als die tiefere dicke.

Um den Unterschied in der Aenderung der Tonhöhe verschieden starker Stimmgabeln bei noch grösseren Temperaturveränderungen zu beobachten, machte ich eine Reihe Versuche, indem ich die betreffenden Stimmgabeln zusammen in Eiswasser erkältete und in kochendem Wasser erhitzte, und die ganze Aenderung ihrer Tonhöhe bei diesem grossen Temperaturwechsel bestimmte. Dieses Letztere war nicht leicht, da zu allen anderen Uebelständen dieser Methode noch der Umstand hinzutritt, dass die bis zur Temperatur des kochenden Wassers erhitzten Gabeln nur noch eine ausserordentlich kurze Schwingungsdauer haben und nach dem Anschlagen gleich wieder aufhören zu

vibriren. Von einer grossen Genauigkeit der absoluten Werthe konnte daher hier noch weniger die Rede sein, als bei den Versuchen im geheizten Kasten, aber diese Experimente dienten doch dazu, das schon gefundene Resultat, dass nämlich die dickeren Stimmgabeln stärker von der Wärme beeinflusst werden, als dünne, noch bestimmter festzustellen. So betrug der Unterschied in der Aenderung der Tonhöhe bei den beiden schon erwähnten Stimmgabeln $\overline{\overline{c}}$ ungefähr 1,5 v. s. und bei den beiden Gabeln $\overline{\overline{\overline{c}}}$ 1,8 v. s., wobei wieder die dickeren Gabeln immer diejenigen waren, welche den grössten Einfluss erlitten.

Dieses Resultat ist darum interessant, weil die Frage vorlag, worin eigentlich der hauptsächliche Grund der Wirkung der Wärme auf die Stimmgabel läge, da diese Wirkung offenbar doppelter Natur sein muss, indem durch die Wärme nicht nur die Länge der Zinken der Gabel, sondern auch ihre Elasticität verändert wird. Da nun bei verschieden starken Gabeln für denselben Ton die Länge im Verhältniss zur Dicke ihrer Zinken um so kleiner wird, als diese letztere zunimmt, so müsste der Einfluss der Temperatur auf die Tonhöhe bei dünnen Gabeln grösser sein, im Falle die Veränderung der Länge der Zinken die vornehmste Ursache der Aenderung der Tonhöhe wäre, und bei dickeren Gabeln bedeutender, wenn die Aenderung der Elasticität bei der ganzen Erscheinung die grösste Bedeutung hätte, durch die beschriebenen Beobachtungen ist nun aber festgestellt, dass dieses letztere wirklich der Fall sei.

Da verschieden starke Stimmgabeln von gleicher Tonhöhe etwas verschieden von der Wärme beeinflusst werden, so geht hieraus auch hervor, dass das Intervall, welches zwei Stimmgabeln von beliebiger Stärke und Tonhöhe bilden, meistens nicht ganz unverändert bleiben wird, wenn die Temperatur wechselt. Wendet man jedoch Gabeln an, welche nicht zu sehr in der Stärke und Form voneinander abweichen, so wird die Störung des Intervalls zweier Stimmgabeln durch den Temperaturwechsel so ausserordent-

lich gering, dass sie gar nicht in Rechnung gezogen zu werden braucht. So zeigte z. B. eine Stimmgabel $\bar{c}$, welche bei 20° Wärme mit der Gabel C des Apparates eine durchaus reine Doppeloctave bildete, bei + 12° optisch durch dieselbe Gabel beobachtet, nur eine Schwankung der Figur 1 : 4 in 50 Secunden, und bei 9° eine Schwankung in 45 Secunden, welche Abweichungen von dem reinen Intervall, resp. 0,020 v. s. und 0,022 v. s. entsprechen. Man kann also im allgemeinen unbedingt annehmen, dass der Wärmeeinfluss auf verschieden hohe Stimmgabeln von nicht zu sehr verschiedener Stärke ihren Schwingungszahlen proportional ist.

Da der für die Gabel des Apparates, $C = 128$ v. s., gefundene Werth für den Einfluss von einem Centigrad Wärme = 0,0143 v. s. ist, so kann man nun also ganz im allgemeinen sagen, dass die Schwingungsperiode einer Stimmgabel durch die Temperaturdifferenz eines Centigrad Wärme um $\frac{1}{8943}$ vergrössert oder verringert wird.

Die Aenderung aber, welche speciell die Tonhöhe der Normalgabel $Ut_3 = 512$ v. s. bei 20° durch die Temperaturdifferenz eines Centigrad Wärme erleidet, beträgt 0,0572 v. s.

Diese in oben beschriebener Weise mit Hülfe der Stimmgabeluhr construirte Normalgabel mit der Gabel $\bar{c}$, welche bisher als Etalon gedient, bei durchaus gleicher Temperatur verglichen, ist tiefer als diese und lässt mit ihr 11 Schwebungen in 62 Secunden hören, wodurch die wahre Schwingungszahl der alten Gabel zu 512,3548 v. s. bei 20 Centigrad Wärme bestimmt wird. Da ein Grad Wärme eine Vertiefung derselben Gabel um 0,0572 v. s. bewirkt, so macht sie 512 v. s. bei $20 + \frac{0{,}3548^0}{0{,}0572} = 26{,}2$ Centigrad Wärme.

Dieses letzte Resultat habe ich noch durch einige sehr sorgfältig ausgeführte directe Versuche bestätigt gefunden, indem ich eine Gabel Ut_3, mit der alten Stimmung, in dem Wärmekasten durch sehr lange fortgesetzte langsame Er-

wärmung bis zum vollkommenen Einklang mit der neuen Gabel brachte, und dann diesen Einklang während einer längern Zeit zu bewahren suchte, wobei ich einen Temperaturunterschied zwischen der Luft im Kasten und der des Zimmers von etwas über 6° und unter 6,5° fand.

Will man also bei einer beliebigen Temperatur die richtige Schwingungszahl seiner Gabel wissen, so muss man, je nachdem man eine Gabel von 512 v. s. bei 20° oder bei 26,2° anwendet, den Unterschied dieser Temperatur in Graden mit der von 20° oder 26,2° nehmen, diese Zahl mit 0,0572 multipliciren und den gefundenen Werth, wenn die Temperatur unter resp. 20° und 26,2° war, zu 512 v. s. zuschlagen, im entgegengesetzten Falle aber von 512 v. s. abziehen.

Um diese Rechnung zu vermeiden, schien es mir zweckmässig, eine Gabel so einzurichten, dass sie bei jeder Temperatur genau 512 v. s. geben könne. Ich versah zu diesem Zwecke jede Zinke derselben mit einer kleinen Scheibe, welche um ihr Centrum gedreht und in jeder Stellung befestigt werden konnte, und befestigte an ihren Rändern ein kleines Gewicht, welches gestattete, durch eine halbe Umdrehung der Scheibe die Schwingungszahl der Gabel von 511,142 v. s. bis zu 512,858 v. s. bei 20° zu verändern. Bei der höchsten Stellung der Gewichte, bei der die Gabel bei 20° 511,142 v. s. macht, muss die Temperatur also 15° unter 20° sinken, damit die Schwingungszahl 512 v. s. werden könne, und ebenso muss die Temperatur 15° über 20° steigen, wenn die Gabel bei der tiefsten Stellung der Gewichte 512 v. s. geben soll. Auf dem Rande der Scheiben ist angegeben, welche Stellung ihnen bei jeder Temperatur zwischen 5° und 35° gegeben werden muss, damit die Schwingungszahl der Gabel genau 512 v. s. werde. — Laufgewichte, mit denen ich zuerst dasselbe Resultat zu erreichen gesucht, hatten sich als weniger praktisch ergeben, da sie nicht ohne Schwierigkeit mit gehöriger Solidität so äusserst leicht construirt werden konnten, als es nöthig gewesen wäre, wenn sie die geringe Tonverän-

derung bei einer genügend weiten Verschiebung bewirken sollten.

Von der Normalgabel $\bar{c} = 512$ v. s. bei 20 Centigrad Wärme kann man mit Leichtigkeit auf folgende Weise zu einer Gabel von 870 v. s. bei 15° Wärme gelangen, welches bekanntlich die Stimmung der französischen Normalgabel $\bar{a}$ (La_3) sein soll, die sich im Conservatoire de musique et de déclamation zu Paris befindet.

Man stimmt vermittelst der Stösse eine Gabel um 10 v. s. höher als die Gabel $\bar{c} = 512$ v. s. bei 20° und stellt zwischen dieser Gabel von 512 v. s. und einer zweiten optisch das absolut reine Verhältniss von 3 : 5 her, wo man dann eine Gabel von 870 v. s. bei 20° Wärme erhält. — Da nun der Einfluss eines Wärmegrades auf eine Gabel von 870 v. s. = 0,0972 v. s. ist, so würde diese selbe Gabel bei 15° $870 + 5 . 0{,}0972 = 870{,}486$ v. s. machen, oder sie müsste bei 20° um 0,486 v. s. tiefer als 870 v. s. sein, um bei 15° genau 870 v. s. geben zu können. Man hat also nur mit der Gabel von 870 v. s. bei 20° bei gleicher Temperatur eine zweite um 0,486 v. s. in der Secunde oder um 15 Schwebungen in $61\frac{1}{2}$ bis 62 Secunden tiefer zu stimmen, um die gewünschte Gabel von 870 v. s. bei 15 Centigrad Wärme zu erhalten.

Eine in dieser Weise construirte Gabel mit der französischen Normalgabel im Conservatoire verglichen, nachdem sie einige Tage lang neben dieser gelegen hatte, um dieselbe Temperatur anzunehmen, ergab für die Schwingungszahl der französischen Normalgabel bei 15 Centigrad Wärme 870,9 v. s., und da der Wärmeeinfluss eines Grades auf eine Gabel von 870 v. s. = 0,0972 v. s., so würde sie 870 v. s. bei 24,26 Centigrad Wärme machen.

Wenn ich diese Zahlen, welche die französische Normalgabel betreffen, nicht mit ganz derselben Genauigkeit angebe, als ich es sonst im Laufe dieser Untersuchungen immer gethan habe, so hat dieses seinen Grund darin, dass diese Gabel nur etwa 20 Secunden lang Schwebungen mit einer andern Gabel gut zu zählen gestattet, was jeden-

falls von der Wirkung des Resonanzkastens herrührt, auf dem sie befestigt ist. Nach dem Tone der Stimmgabel, und auch nach der Art seines Verklingens zu urtheilen, scheint dieser nämlich in ziemlich hohem Grade die Eigenschaften zu besitzen, bei denen, wie ich oben angegeben, ein Resonanzkasten eine starke Einwirkung auf die Schwingungen der Gabel ausübt, und wollte man daher eine sehr genaue Bestimmung der Differenz der Schwingungszahlen zwischen dieser officiellen Gabel und einer andern machen, so würde man wahrscheinlich gezwungen sein, sie von ihrem Kasten zu entfernen. Eine solche sehr weit getriebene Genauigkeit würde aber in diesem Falle wohl nicht einmal von einem grossen Interesse sein, da die Experimente nicht veröffentlicht worden sind, auf denen die Angabe der Schwingungszahl von 870 v. s. bei 15 Centigrad Wärme für diese Gabel beruht und sich somit von vornherein jeder Discussion entziehen.

Es sind im Laufe der letzten Jahre eine Reihe Bestimmungen der absoluten Schwingungszahl meiner Gabel, welche $ut_3 = 512$ v. s., ohne Angabe der Temperatur, markirt war, von verschiedenen Gelehrten veröffentlicht worden, welche alle nur wenig voneinander abweichen. So fand Prof. A. M. Mayer in Hoboken[1]) vermittelst der graphischen Methode $Ut_3 = 255{,}96$ v. d. bei 60° F. als Mittelwerth von sechs Experimenten, deren äusserste Werthe 255,94 v. d. und 256,2 v. d. waren, und die Verzögerung oder Beschleunigung der Schwingungsperiode für den Temperaturunterschied von 1° F. $= \frac{1}{22000}$; Dr. R. C. Cooley[2]), ohne Temperaturangabe, mit seinem electric. register, bei 15 Experimenten immer $ut_3 = 256$ v. d.; Lord Rayleigh[3]), ohne Temperaturangabe, mit einem gewöhnlichen Harmonium, $Ut_1 = 63{,}98$ v. d. bis 64,06 v. d., endlich

1) Mayer, Amer. Journ. of Science. Aug. 1877.
2) Cooley, Journ. of the Franklin Institute. Sept. 1877.
3) Rayleigh, Nature, p. 275. London, Jan. 1879.

Prof. Mc Leod und Lieut. Clarke[1]), ebenfalls ohne Temperaturangabe, mit Hülfe ihres Cycloscops, $Ut_3 = 256{,}281$ v. d. bis 256,287 v. d., und durch Experimente mit einem geheizten Kasten die Vertiefung einer Gabel durch 1 Centigrad Wärme = 0,011 Proc.

Eine Ausnahme von diesen, dem wahren Werthe sehr nahe kommenden Resultaten macht nur die Bestimmung des Hrn. Prof. Preyer, der $Ut_3 = 258{,}2$ v. d. fand und erklärte, dass „die erste Decimale dieser auf eine Secunde bezogenen Schwingungszahl als völlig zuverlässig feststände"[2]), während selbst die Zahl der ganzen Doppelschwingungen um zwei Einheiten von dem wahren Werthe abweicht. Dieses auffällige Resultat findet aber seine Erklärung in der Anwendung bei den Experimenten eines Tonometers, bei welchem die einzelnen Töne, statt durch Stimmgabeln, von Harmoniumzungen gebildet wurden, die auf demselben Brette befestigt und in derselben Luftmasse eingeschlossen, beim Zusammenklingen sich gegenseitig influenzirten, etwa in der Art, wie es die Pendel in den bekannten Pendelversuchen von Savart thun, wodurch das Instrument, wenn man diese Fehlerquelle unberücksichtigt lässt, zur genauen Bestimmung der Schwingungszahl vollständig unbrauchbar wird. — Hr. A. J. Ellis hat später ähnliche Resultate veröffentlicht[3]), zu denen ihn die Benutzung eines Apparates derselben Art geführt hatte, doch von Lord Rayleigh auf die muthmassliche Fehlerquelle bei seinen Bestimmungen aufmerksam gemacht[4]), hat Hr. Ellis diese seitdem schon selbst erkannt und angekündigt, dass die von ihm gefundenen Werthe einer Correctur zu unterwerfen wären.[5])

Paris, December 1879.

1) Mc Leod u. Clarke, Proc. of the Cambridge Phil. Soc. Dec. 1877.

2) Preyer, „Ueber die Grenzen der Tonwahrnehmung", p. 46. Jena 1876.

3) Ellis, Soc. of Arts. 23. May 1877. — Nature, p. 85. London 1877.

4) Rayleigh, Nature, p. 12. London 1877.

5) Ellis, Nature, p. 26. London 1877.

Opelt, F. W. **Allg. Theorie d. Musik** auf den Rhythmus der Klangwellenpulse gegründet. 4. Mit 3 Tafeln. 1852. 4 M.

Opelt, O. M. **Der Mond**, populäre Darstellung der Verhältnisse und Erscheinungen, welche von diesem Weltkörper bekannt sind. Nebst einer Mondkarte von 40 Centim. Durchm., bietend eine Vollansicht d. M. nebst 1 Skelettkarte mit d. Namen u. Höhen. 1878. 6 M.

Plattner, C. F. **Die Probirkunst mit dem Löthrohre** oder vollständige Anleitung zu qualitativen und quantitativen Löthrohr-Untersuchungen. 5. Aufl., neu bearbeitet von Th. Richter. Mit eingedruckten Holzschnitten. 664 Seit. 1878. 12 M.

Poggendorff, J. C. **Biographisch-literarisches Handwörterbuch** zur Geschichte der exacten Wissenschaften, enthalt. Nachweisungen über Lebensverhältnisse und Leistungen von Mathematikern und Astronomen, Physikern, Chemikern, Mineralogen, Geologen u. s. w. aller Völker und Zeiten. 2 Bände Lexiconformat. 1863. 40 M.

Supplementband in Vorbereitung.

—— **Lebenslinien** zur Geschichte der exacten Wissenschaften. gr. 4°. (1853.) 14 S. mit 3 lith. Tafeln in Fol. (Ladenpr. 4 M.) 2 M.

—— **Geschichte der Physik.** Vorlesungen gehalten an d. Universität zu Berlin. 937 Seiten. 8° mit 40 Fig. 1879. 16 M. 80 Pf.

Rau, Albr. **Die Lehre von der chemischen Valenz und ihr Verhältniss zur electrochemischen Theorie**, eine historisch-kritische Studie. 1879. 60 Pf.

(Sep.-Abdr. a. d. Journal f. prakt. Chemie.)

Rühlmann, R. **Die barometrischen Höhenmessungen** und ihre Bedeutung für die Physik der Atmosphäre. Mit Holzschn. und 6 Tafeln. gr. 8. 1870. 4 M.

Schlagintweit, Herm. u. Ad. **Untersuchungen über die physicalische Geographie der Alpen** in ihren Beziehungen zu den Phänomenen der Gletscher, der Geologie, Meteorologie und Pflanzengeographie. Mit 71 Holzschnitten, 16 farb. u. schwarz. Tafeln und 2 Karten in Farbendruck. Lex. 8. 1850. (statt 36 M.) 20 M.

Schmidt, J. F. L. (Director der Sternwarte zu Athen.) **Der Mond.** Ueberblick über den gegenwärtigen Umfang und Standpunkt unserer Kenntnisse v. d. Oberflächengestaltung u. Physik dieses Weltkörpers. gr. 4. Mit Holzschn. u. 2 farb. Tafeln. 1856. 4 M. 50 Pf.

—— **Ueber Rillen auf dem Monde.** Mit 3 Tafeln. gr. 4. 1866. 3 M. 60 Pf.

Weber, H. **Ueber die Bestimmung des galvanischen Widerstandes der Metalldrähte** aus ihrer Erwärmung durch den galvanischen Strom nach absolutem Maasse. gr. 4. 1863. (Dissert.) 1 M. 20 Pf.

3 0112 072672543

Annalen der Physik und Chemie.

Neue Folge.

Unter Mitwirkung
der physikalischen Gesellschaft zu Berlin, insbesondere des Herrn Prof. Helmholtz,
herausgegeben von

Prof. G. Wiedemann.

Preis per Jahrgang von 3 Bänden oder 12 Heften in 8. mit Tafeln 31

Von Gilbert im Jahre 1799 begonnen und von Poggendo
während 52 Jahren (von 1825—1876) ununterbrochen fortgeführt. —
Ganz complete Reihenfolgen einschliesslich des den „Annalen“ v
ausgegangenen „Gren's Journal und Neues Journal für Physik 1790—9
halte ich stets vorräthig und erlasse solche sowie nach Maassgabe
Vorräthe auch einzelne Reihen, Jahrgänge, Bände und Hefte zu den th
lichst günstigen Bedingungen.

☞ Zur Ergänzung meiner Vorräthe suche ich einzelne Jahrgän
Bände und Hefte zurückzukaufen oder einzutauschen und erbi
desfallsige Anträge.

Beiblätter

zu den

Annalen der Physik und Chemie.

(Seit 1877 erscheinend.)

Jährlich 12 Hefte. 16 M.

Die Beiblätter sind bestimmt eine Uebersicht der gesammt
neuerscheinenden physikalischen Literatur des Aus- und I
landes zu bieten und enthalten:

Auszüge und Notizen, auch vollständige Uebersetzung
aus ausländischen Journalen, Dissertationen u. Berichten gelehrter Ges
schaften u. s. w.

Monatliche Zusammenstellung der neuen physikalisch
Literatur u. s. w.

Journal für praktische Chemi

Neue Folge, red. von Prof. Dr. **H. Kolbe** u. **E. v. Meyer.**

Jährlich 2 Bände oder 20 Hefte 20 M. — Ein Band 12 M. — Ein Heft 1 M. 50

Diese Zeitschrift ist bestimmt, ein

Archiv der Chemie in ihrem ganzen Umfang

zu bilden und werden die der Redaction zugehenden und als geeig
befundenen Originalarbeiten stets sofort dem Druck übergeben.

Complete Reihenfolgen dieser seit 1834 erscheinenden Zeitschrift
oder ohne des ihr vorausgegangenen

„Journal für technische und öconomische Chemie“,

(1828—33) werden stets vorräthig gehalten und zu möglichst günstig
Bedingungen abgegeben, ebenso einzelne Jahrgänge und Bände na
Massgabe der Vorräthe.

Einzelne Jahrgänge, besonders der Neuen Folge (seit 1870) suc
ich zur Ergänzung meiner Vorräthe zurückzukaufen oder einzutausch
und erbitte mir vorkommenden Falles gefällige Anträge.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.